



REC'D 20 AUG 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 33 059.3

Anmeldetag: 18. Juli 2003

Anmelder/Inhaber: Heraeus Tenevo AG,
63450 Hanau/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines optischen
Bauteils aus Quarzglas sowie Hohlzylinder
aus Quarzglas zur Durchführung des Ver-
fahrens

IPC: C 03 B 37/012

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 21. Mai 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Ebert.

BEST AVAILABLE COPY

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Patentanmeldung**Heraeus Tenevo AG****Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas sowie
Hohlzylinder aus Quarzglas zur Durchführung des Verfahrens**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt.

- 15 Weiterhin betrifft die Erfindung einen Hohlzylinder aus Quarzglas zur Durchführung des Verfahrens, mit einer Innenbohrung, die im Bereich eines ihrer Enden mit einer Verengung versehen ist.

Durch Kollabieren und Elongieren einer coaxialen Anordnung von Kernstab und mindestens einem den Kernstab umhüllenden Hohlzylinder werden einfache Vollzylinder oder Zwischenprodukte (Vorformen) für optische Fasern hergestellt. Es ist auch bekannt, einen Hohlzylinder auf einen Kernstab während des Faserziehens aufzukollabieren, wobei das letztgenannte Verfahren als „ODD-Verfahren“ (Overclad-During-Drawing) bezeichnet wird. Alle Verfahrensvarianten erfordern eine exakt coaxiale Führung oder Fixierung des Kernstabs im Hohlzylinder.

Um dies zu gewährleisten und darüber hinaus ein beschädigungsfreies Einführen des Kernstabes in ein Mantelrohr zu gewährleisten wird in der US 4,812,154 A1 ein Verfahren zur Herstellung einer Vorform vorgeschlagen, bei dem im unteren Bereich des Mantelrohres eine Einschnürung erzeugt wird mit einem Innendurchmesser, der kleiner ist als der Außendurchmesser des

Kernstabs. Das Mantelrohr wird vertikal ausgerichtet und von der unteren Seite wird ein Stickstoffstrom durch das Mantelrohr geleitet. Gleichzeitig wird der Kernstab mit seinem unteren Ende beginnend gegen den Gasstrom in das Mantelrohr eingeführt, wobei durch den Gasstrom eine Zentrierung des Kernstabs im Mantelrohr erreicht wird, die einen Kontakt mit der Innenwandung verhindert. Sobald das untere, sich konisch nach Außen verjüngende Ende des Kernstabs auf der Einschnürung des Mantelrohres aufsetzt, werden Kernstab und Mantelrohr unter Bildung einer Vorform miteinander verschmolzen.

Bei einem anderen Verfahren gemäß der EP 1 129 999 A2 wird vorgeschlagen, einen Kernstab mit einem inneren Mantelglasrohr und mit einem äußeren Mantelglasrohr gleichzeitig zu überfangen. Zur Fixierung des Kernstabes koaxial innerhalb des inneren und des äußeren Mantelglasrohres wird das äußere Mantelglasrohr im Bereich des unteren Endes durch Erhitzen mit einer Einschnürung versehen. Bei vertikal orientiertem äußerem Mantelrohr wird von oben ein Haltering in die Innenbohrung des Mantelrohres eingeführt, der einen Außendurchmesser hat, der geringfügig größer ist als der Durchmesser der Einschnürung, so dass sich der Haltering von oben auf den Bereich der Einschnürung auflegt. Bei exakt waagrechter Orientierung ergibt sich durch die Mittelbohrung des Halterings ein Anschlag für den mit einem konischen unteren Ende versehenen Kernstab, während das erste innere Mantelrohr auf dem Haltering aufliegt. Anschließend werden die Mantelrohre und der Kernstab miteinander verschmolzen, wobei in der Innenbohrung des äußeren Mantelrohres ein Vakuum erzeugt und aufrechterhalten wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein weiteres Verfahren zur Herstellung hochwertiger optischer Bauteile durch Elongieren einer koaxialen Anordnung von Kernstab und Hohlzylinder anzugeben, bei welchem der Hohlzylinder zwecks Fixierung des Kernstabs mit einer Verengung versehen wird, welche kostengünstig erzeugt werden kann, und welche mit möglichst geringem Aufwand eine reproduzierbare Fixierung des Kernstabs in dem Hohlzylinder erlaubt.

Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Hohlzylinder bereitzustellen, der eine definierte und mit geringem Aufwand herstellbare Verengung der Innenbohrung aufweist.

- Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß einerseits dadurch gelöst, dass die Innenbohrung mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung erzeugt wird, indem bei der mechanischen
- 5 Bearbeitung im Bereich des unteren Endes ein um die Längsachse der Innenbohrung umlaufender und nach Innen ragender Kragen erzeugt wird Bei dieser Verfahrensvariante wird die Innenbohrung des Hohlzylinders mechanisch auf Endmaß bearbeitet. Durch die mechanische Bearbeitung, die insbesondere Bohren und Schleifen - und optional Honen - umfasst, kann unter
- 10 Einsatz bekannter Schleifverfahren und dafür geeigneter handelsüblicher Vorrichtungen ein Quarzglas-Rohling mit einem Außendurchmesser von mehr als 100 mm und einer Länge von mehr als 2 m vollständig in einen geraden Hohlzylinder mit genauem kreisförmigem Querschnitt und einer geringen Maßabweichung, im Bereich von 1/10 mm hergestellt werden.
- 15 Unter einem mechanisch auf Endmaß gearbeiteten Hohlzylinder im Sinne dieser Erfindung ist auch ein Zylinder zu verstehen, dessen Innenoberfläche mechanisch auf Endmaß bearbeitet wurde und der anschließend durch Ätzen gereinigt wird. Gleichmäßige Ätzprozesse bewirken keine wesentliche Änderung der geometrischen Endform des Hohlzylinders (wie beispielsweise
- 20 eine Biegung oder eine Ovalität im Querschnitt).
- Erfindungsgemäß wird bei der mechanischen Bearbeitung im Bereich des unteren Endes der Hohlzylinder-Innenbohrung ein nach Innen ragender und um die Innenbohrung umlaufender Kragen erzeugt. Dies geschieht im einfachsten Fall dadurch, dass die mechanische Bearbeitung vor dem Ende der
- 25 Innenbohrung stoppt, so dass ein Bereich der ursprünglichen Innenbohrung in Form einer Stufe stehen bleibt. Der Kragen ist in der Regel in Form einer umlaufenden Rechteckstufe ausgebildet. Durch mechanische Bearbeitung der Innenwandung des Kragens kann ein Kragen mit vorgegebener Höhe und Form erzeugt werden.
- 30 Diese Verfahrensvariante zeichnet sich einerseits dadurch aus, dass die Verengung in einem Arbeitsgang mit der mechanischen Bearbeitung des Hohlzylinders erzeugt wird und somit ein zeit- und kostenaufwändiger Heißverformungsschritt hierfür nicht erforderlich ist. Trotz des geringen

Aufwandes ermöglicht die mechanische Bearbeitung eine hohe Maßhaltigkeit des Kragens und damit eine definierte Lagerung des Kernstabs auf dem Kragen, wie dies zur Erzeugung qualitativ hochwertiger optischer Bauteile aus Quarzglas notwendig ist.

- 5 Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der umlaufende Kragen mit einer maximalen Höhe erzeugt wird, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,3-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung, vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung, liegt.
- 10 Ein Kragen mit einer maximalen Höhe oberhalb der genannten Untergrenze verhindert ein Abrutschen oder Verkanten des Kernstabs, wobei von einem Kernstab ausgegangen wird, dessen Außendurchmesser nicht weniger als das 0,9-fache des Hohlzylinder-Innendurchmessers beträgt. Andererseits ist es zur Erzielung einer hohen Reinheit erwünscht, den Ringspalt zwischen Kernstab
- 15 und Hohlzylinder bis unmittelbar vor dem Kollabieren mit einem Gas spülen zu können. Diese Gasspülung wird durch einen möglichst großen freien Strömungsquerschnitt erleichtert. Die maximale Höhe des Kragens entspricht dem Unterschied zwischen dem Radius der Innenbohrung außerhalb des Kragens und dem minimalen Innenradius der Innenbohrung. Bei einem Kragen
- 20 in Stufenform entspricht die maximale Höhe der Stufenhöhe.
- Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der umlaufende Kragen mit einer Ausdehnung – in Richtung der Längsachse gesehen – erzeugt wird, die im Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.
- Das mit dem Kragen versehene Ende des Hohlzylinders wird nach der
- 25 Herstellung des Quarzglas-Bauteils verworfen. Der angegebene Bereich für die Ausdehnung des Kragens in Richtung der Hohlzylinder-Längsachse stellt einen geeigneten Kompromiss dar zwischen einer ausreichenden Tragfähigkeit des Kragens im Hinblick auf das Gewicht des darauf ruhenden Kernstabs einerseits und einem möglichst geringen Materialverlust andererseits.
- 30 Vorteilhafterweise wird ein Kragen mit einem sich zum unteren Ende hin verjüngenden Innenkonus erzeugt.

Der Innenkonus trägt zur Zentrierung des Kernstabs in der Innenbohrung bei und stabilisiert so den Ziehprozess.

Weiterhin wird die oben angegebene Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß auch dadurch gelöst, dass die
5 Innenbohrung mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung erzeugt wird, indem das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders erweicht, gegen ein Werkzeug gestaucht, und dabei unter Bildung eines umlaufenden Wulstringes nach Innen eingestülpt wird.

Auch bei dieser Verfahrensvariante wird die Innenbohrung des Hohlzylinders
10 mechanisch auf Endmaß bearbeitet. Hinsichtlich ihrer Definition, ihrer Durchführung und der sich infolge der mechanischen Bearbeitung ergebenden Vorteile wird auf die obigen Erläuterungen verwiesen, welche für diese Verfahrensvariante gleichermaßen zutreffen.

Erfindungsgemäß wird die Verengung der Innenbohrung durch plastische
15 Verformung des unteren Endes des Hohlzylinders erzeugt. Hierzu wird das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders erweicht und unter Bildung eines umlaufenden Wulstringes mittels eines Werkzeuges gestaucht und dabei nach innen eingestülpt. Die Verengung stellt sich je nach der Viskosität des Quarzglases, der Form des Werkzeuges und dem Anpressdruck ein. Durch
20 Einhalten dieser Parameter kann die Verengung der Innenbohrung ohne großen Aufwand reproduzierbar erzeugt werden.

Im Hinblick auf eine reproduzierbare Einstellung der Form und Größe der Verengung hat es sich besonders bewährt, wenn das Werkzeug ein in die Innenbohrung hinein ragendes Formteil aufweist, wobei das eingestülpte
25 Quarzglas an dem Formteil unter Bildung des umlaufenden Wulstringes zum Anliegen kommt.

Das nach Innen gestülpte, erweichte Quarzglas schmiegt sich an das Formteil an, so dass die Außenkontur des in die Innenbohrung hineinragenden Formteils die Innenkontur der resultierenden Verengung bestimmt.

Im einfachsten Fall wird ein Werkzeug eingesetzt, bei welchem das Formteil eine in die Innenbohrung des Hohlzylinders hinein ragende Kegelfläche aufweist. Hierbei wird der Innendurchmesser der Verengung durch die Geometrie der Kegelfläche, die Eindringtiefe derselben in die Innenbohrung und die Anlage des erweichten Quarzglas an der Kegelfläche bestimmt. Die Kegelfläche ist beispielsweise als Spitze oder als Kegelstumpf ausgebildet.

Alternativ dazu hat es sich bewährt, ein Werkzeug einzusetzen, bei welchem das Formteil als ein in die Innenbohrung des Hohlzylinders hinein ragender Zapfen ausgebildet ist, der einen Außendurchmesser aufweist, der dem Innendurchmesser des sich bildenden Wulstringes entspricht.

In diesem Fall ergibt sich der Innendurchmesser der Verengung durch den Außendurchmesser eines zylinderförmigen Zapfens, und zwar unabhängig von dessen Eindringtiefe, so dass im Vergleich zu der vorher erläuterten Verfahrensvariante ein geringerer Aufwand zur Erzielung einer hohen Reproduzierbarkeit erforderlich ist.

Eine weitere Verbesserung hinsichtlich der Reproduzierbarkeit wird erreicht, wenn das Werkzeug eine Ringnut aufweist, deren Außendurchmesser dem Außendurchmesser des Hohlzylinder und deren Innendurchmesser dem Innendurchmesser des Wulstringes entspricht.

Die Weite der Ringnut des Werkzeugs ist größer als die Wandstärke des endseitig einzustülpenden Hohlzylinders. Die äußere Begrenzung der Ringnut entspricht etwa dem Außendurchmesser des Hohlzylinders. Ihre innere Begrenzung ergibt sich durch den Außenumfang des in die Innenbohrung hineinragenden Zapfens. Die Ringnut bildet eine einseitig offene Form für das beim Verformungsprozess zur Erzeugung der Verengung sich plastisch verformende Quarzglas. Auf einfache Art und Weise wird somit ein definiertes Ergebnis dieses Verformungsvorganges gewährleistet.

Hohlzylinder und Werkzeug können mittels eines Propan-, Knallgas- oder Plasmabrenners auf eine Temperatur erhitzt werden, bei welcher das Quarzglas erweicht. Die Beheizung der genannten Quarzglasteile mittels eines Brenner hat den Vorteil, dass der Energieeintrag rasch und flexibel verändert und auf einen engen Bereich begrenzt werden kann.

Vorteilhafterweise werden der Hohlzylinder und das Werkzeug jedoch in einem Ofen auf eine Temperatur aufgeheizt, bei welcher Quarzglas erweicht.

In einem Ofen ist eine definierte Temperatur und eine homogene Temperaturverteilung vergleichsweise einfach einzustellen. Daher verbessert
5 das Erhitzen des Hohlzylinders und des Werkzeuges in einem Ofen die Reproduzierbarkeit des Verfahrens zur Herstellung der Verengung.

Es hat sich bewährt, ein Werkzeug einzusetzen, das aus Graphit oder aus carbonfaserverstärktem Kohlenstoff besteht. Diese Werkstoffe zeichnen sich durch hohe Temperaturbeständigkeit und durch eine geringe Benetzung im
10 Kontakt mit Quarzglas aus, so dass die daraus bestehenden Werkzeuge nach dem Verformungsprozess von dem Quarzglas-Hohlzylinder leicht getrennt werden können. Eine weitere Verbesserung ergibt sich dadurch, dass das Werkzeug und das erweichte stirnseitige Ende des Hohlzylinders um die Hohlzylinder-Längsachse gegeneinander rotieren.

15 Dadurch wird eine radiale homogenere Temperaturverteilung erreicht, welche die Ausbildung einer radialsymmetrischen Verengung erleichtert, die sich wiederum günstig auf die Reproduzierbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens auswirkt.

Weiterhin hat es sich bewährt, wenn an dem erweichten stirnseitigen Ende des
20 Hohlzylinders mittels des Werkzeugs ein sich nach Außen hin verjüngender Außenkonus geformt wird.

Das untere Ende des so vorgeformten Hohlzylinders weist in erster Näherung die Form einer Ziehwiebel auf, und erleichtert den Anziehprozess, indem der Austritt des so geformten Endes aus der ringförmigen Heizzone und die
25 Ausbildung eines Anziehstücks vereinfacht werden.

Insbesondere für Anwendungen, bei denen es auf hohe Reinheit ankommt, wird vorzugsweise ein Werkzeug in Form eines Quarzglasrohres eingesetzt, das mit dem stirnseitigen Ende des Hohlzylinder in Form eines Stoßes verschmolzen wird.

Durch den Anpressdruck beim Verschmelzen von Hohlzylinder und Quarzglasrohr wird der an der Innenwandung des Hohlzylinders umlaufende Wulstring erzeugt.

Die oben angegebene Aufgabe wird ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß auch dadurch gelöst, dass ein Rohzylinder
5 bereitgestellt wird, dessen Länge ein Mehrfaches der Länge des Hohlzylinders entspricht, und dessen Bohrung mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Rohzylinder-Bohrung in einer Kollabierzone, die zum stirnseitigen Ende des Rohzylinders einen Abstand aufweist, der mindestens der Länge des
10 Hohlzylinders entspricht, erhitzt und dabei teilweise kollabiert wird, und dass anschließend der Rohzylinder im Bereich der Kollabierzone getrennt wird.

Bei dieser Verfahrensvariante wird die Innenbohrung des Rohzylinders +mechanisch auf Endmaß bearbeitet. Hinsichtlich ihrer Definition, ihrer Durchführung und der sich infolge der mechanischen Bearbeitung ergebenden
15 Vorteile wird auf die obigen Erläuterungen zur mechanischen Bearbeitung des Hohlzylinders verwiesen, welche für diese Verfahrensvariante gleichermaßen zutreffen.

Erfindungsgemäß wird die Verengung der Innenbohrung des Hohlzylinder dadurch erzeugt, dass in einem Rohzylinder, der ein Mehrfaches der Länge des
20 Hohlzylinders aufweist, eine Zone plastischer Verformung durch teilweises Kollabieren der Innenbohrung erzeugt wird. Diese Zone plastischer Verformung ist an einer Stelle vorgesehen, die vom stirnseitigen Ende des Rohzylinders einen Abstand hat, der mindestens so groß ist wie die vorgegebene Länge des Hohlzylinders. Im einfachsten Fall ist die Kollabierzone in der Mitte eines
25 Rohzylinders mit zweifacher Länge des Hohlzylinders vorgesehen. Bei einem Rohzylinder mit der vierfachen Länge eines Hohlzylinder sind Verengungen im unteren Drittel und im oberen Drittel vorzusehen, damit daraus vier Hohlzylinder erhalten werden können. Nach dem Erzeugen der Verengung durch Kollabieren wird der Rohzylinder im Bereich seiner Kollabierzone oder seiner
30 Kollabierzonen getrennt, so dass die so erhaltenen Zylinderstücke beiderseits der Trennstelle eine Verengung aufweisen und als Hohlzylinder im Sinne der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können.

Diese Verfahrensvariante hat mehrere Vorteile. Zum einen werden durch einen Arbeitsgang (Kollabieren und Trennen) zwei Hohlzylinder mit einer geeigneten Verengung der Innenbohrung erhalten. Zum anderen ist das mit der Verengung versehene, untere Ende der so erzeugten Hohlzylinder infolge des

5 Kollabierschrittes zwiebelförmig ausgebildet, was den Anziehvorgang beim bestimmungsgemäßen Einsatz des Hohlzylinders erleichtert. Weiterhin wird die Verengung durch Kollabieren erzeugt, so dass Verunreinigungen durch ein Werkzeug vermieden werden.

10 In einer bevorzugten Verfahrensweise besteht der Rohzylinder aus mindestens zwei stirnseitig miteinander verbundenen Ausgangszylindern, die im Bereich einer Ansetzzone in Form eines Stoßes zusammengefügt werden, wobei das Erhitzen und teilweise Kollabieren des Rohzylinders im Bereich der Ansetzzone erfolgt.

15 Durch das Erhitzen und teilweise Kollabieren des Rohzylinders im Bereich der Ansetzzone wird eine Verengung der Innenbohrung erzeugt, die nach dem Trennvorgang jeweils einem stirnseitigen Ende eines Hohlzylinders zu liegen kommt.

Vorzugsweise weist dabei mindestens einer der Ausgangszylinder im Bereich der Ansetzzone eine verringerte Wandstärke auf.

20 Infolge der verringerten Wandstärke bei mindestens einem der Ausgangszylinder wird zum einen die Lage der Kollabierzone exakt vorgegeben, und zum anderen wird die Ausbildung des unteren Endes mit Zwiebelform verstärkt.

25 Insbesondere im Hinblick hierauf ergibt sich eine weitere Verbesserung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn der Bereich verringerter Wandstärke als konische Verjüngung ausgebildet ist.

Die Verengung der Innenbohrung des Rohzylinders wird vorzugsweise dadurch erzeugt, dass der Rohzylinder in vertikaler Ausrichtung hängend in einem ringförmigen Heizelement im Bereich seiner Kollabierzone erweicht, und dabei

30 unter Einfluss seines Eigengewichtes elongiert wird.

Diese Verfahrensvariante ermöglicht eine fortlaufende Erzeugung von Verengungen in einem entsprechend langen Rohzylinder.

- Alternativ oder ergänzend hierzu wird ein Rohzylinder eingesetzt, der einen Zylinderaußenmantel aufweist, der vor dem Erhitzen und Kollabieren im Bereich der Kollabierzone mit einer radial umlaufenden Einkerbung versehen wird.

Die Vorgabe durch die radial umlaufende Einkerbung bewirkt eine exakte Lokalisierung der Verengung und trägt so zu einer besseren Reproduzierbarkeit bei.

- Es hat sich als günstig erwiesen, beim Kollabieren in der Bohrung einen Unterdruck gegenüber dem Außen an der Zylindermantelfläche anliegenden Druck zu erzeugen.

- Der Unterdruck in der Bohrung des Rohzylinders beschleunigt den Kollabiervorgang und er erzeugt zusätzliche, nach Innen wirkenden Kräfte beim Kollabieren, so dass zufällige Schwankungen anderer Verfahrensparameter, welche zu einer undefinierten Form und Lage der Verengung führen können, kompensiert werden. Insoweit trägt auch der Unterdruck in der Bohrung des Rohzylinders zur besseren Reproduzierbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens bei.

- In einer weiteren Verfahrensvariante wird die oben angegebene Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Innenbohrung eines ersten, oberen Hohlzylinders mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung erzeugt wird, indem der erste Hohlzylinder stirnseitig mit einem zweiten, unteren Hohlzylinder unter Bildung eines axialen Zylinderverbundes verschmolzen wird, in den unteren Hohlzylinder ein Kernstab eingesetzt wird, und der axiale Zylinderverbund mit seinem unteren Ende beginnend der Heizzone zugeführt, darin zonenweise erweicht und unter Bildung des Bauteils elongiert wird, wobei sich eine in dem Zylinderverbund zum ersten, oberen Hohlzylinder fortschreitende Ziehzwiebel ausbildet, die durch Kollabieren die Verengung der Innenbohrung des ersten Hohlzylinders bewirkt, der von dem optischen Bauteil getrennt wird, und wobei anschließend der erste Hohlzylinder als zweiter Hohlzylinder eingesetzt wird.

Bei dieser Verfahrensvariante wird an die Oberseite eines unteren Hohlzylinders, der eine Innenbohrung mit einer Verengung aufweist, ein oberer Hohlzylinder angeschmolzen, dessen Innenbohrung wenigstens zum Teil frei kollabierbar ist. Der Verbund aus erstem, oberem Hohlzylinder und zweitem, unteren Hohlzylinder wird anschließend in vertikaler Ausrichtung einer Heizzone zugeführt, wobei in der Innenbohrung des unteren Hohlzylinders ein Kernstab eingesetzt ist, der auf der Verengung der Innenbohrung aufliegt. Dieser axiale Hohlzylinderverbund wird in der Heizzone mit seinem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und zu dem optischen Bauteil elongiert. Dabei bildet sich eine Ziehzwiebel aus, wobei der Ringspalt zwischen dem Kernstab und dem unteren Hohlzylinder kollabiert. Infolge des fortlaufenden Vorschubes des Verbundes zu der Heizzone bewegt sich die Ziehzwiebel allmählich in Richtung des oberen Hohlzylinders. Sobald sie diesen erreicht hat, beginnt die Innenbohrung des oberen Hohlzylinders zu kollabieren unter Bildung einer Verengung. Der obere, erste Hohlzylinder wird anschließend von dem optischen Bauteil abgetrennt. Seine Innenbohrung ist nunmehr teilweise kollabiert und er weist die gewünschte Verengung auf. In einem nachfolgenden Verfahrensschritt wird der so hergestellte, eine Innenbohrung mit Verengung aufweisende obere Hohlzylinder in einer coaxialen Anordnung mit einem Kernstab zu einem optischen Bauteil elongiert. Der Kernstab wird durch die obere Öffnung der Innenbohrung des Hohlzylinders eingeführt. Dabei kann wiederum an dessen oberer Stirnseite ein weiterer Hohlzylinder angeschmolzen werden, der zur Halterung des Verbundes aus Hohlzylinder und Kernstab dient. Anschließend wird das oben beschriebene Elongierverfahren unter Bildung einer Verengung in der Innenbohrung des oberen Hohlzylinders durchgeführt.

Zur Minimierung von Materialverlust wird das Kollabieren vorzugsweise unterbrochen, sobald der obere Hohlzylinder eine ausreichende Verengung zum Halten des Kernstabes aufweist, wobei eine verbleibende Öffnung der Innenbohrung für eine Gasspülung zu Beginn des Elongierverfahrens erwünscht ist.

Bei allen vorstehend erläuterten Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Herstellung des Quarzglas-Bauteils dadurch, dass ein Kernstab in die Innenbohrung des Hohlzylinders eingebracht wird und dabei in vertikaler

Orientierung auf der in der Innenbohrung erzeugten Verengung aufliegt. Die koaxiale Anordnung von Kernstab und Hohlzylinder wird zonenweise erweicht und dabei zu einem Vollstab, einer Vorform oder zu einer Faser elongiert.

Bei dem Kernstab handelt es sich um einen Quarzglasstab mit radial homogener oder mit radial inhomogener Brechzahlverteilung. In der Regel besteht der Kernstab aus einem Kernglas mit höherem Brechungsindex, das von einem Mantelglas mit geringerem Brechungsindex umgeben ist. Der Kernstab ist einteilig ausgebildet, oder er ist aus mehreren kurzen Kernstäben zusammengesetzt, die in der Innenbohrung des Hohlzylinder übereinander angeordnet sind.

Der Kernstab wird innerhalb der Innenbohrung des Hohlzylinders geführt und mittels der darin ausgebildeten Verengung axial fixiert. Innerhalb der Innenbohrung befindet sich entweder allein der Kernstab oder ein Kernstab, umgeben von einem oder mehreren Mantelglasrohren, die gegebenenfalls auch mittels der Verengung der Innenbohrung axial fixiert werden. Der Hohlzylinder im Sinne der Erfindung bildet die äußerste Mantelglasschicht des optischen Bauteils, oder er ist in der koaxialen Anordnung mit dem Kernstab zusätzlich von einem oder von mehreren Mantelglasrohren umgeben, welche das Quarzglas für weiter außen liegende Mantelglasschichten des optischen Bauteils liefern. Bei dem optischen Bauteil handelt es sich um einen Vollstab, eine Vorform für optische Fasern, oder um eine optische Faser.

Die mechanische Bearbeitung der Innenbohrung erfolgt in der Regel vor dem Verfahrensschritt, bei dem die Verengung der Innenbohrung erzeugt wird.

Hinsichtlich des Hohlzylinders aus Quarzglas zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die oben angegebene Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Hohlzylinder erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Innenbohrung eine mechanisch auf Endmaß bearbeitete Oberfläche aufweist, und dass die Verengung als ein bei der mechanischen Bearbeitung erzeugter, in die Innenbohrung hinein ragender Kragen ausgebildet ist.

Der erfindungsgemäße Hohlzylinder zeichnet sich zum einen dadurch aus, dass er mechanisch auf Endmaß bearbeitet ist. Die mechanische Bearbeitung,

die insbesondere ein Bohren und Schleifen - und optional Honen - umfasst, ermöglicht eine hohe Maßhaltigkeit des Hohlzylinders über dessen gesamte Länge. Mittels handelsüblicher Vorrichtungen kann ein Quarzglas-Hohlzylinder mit einem Außendurchmesser von mehr als 100 mm und einer Länge von mehr
5 als 2 m mit exaktem kreisförmigem Querschnitt hergestellt werden, wobei eine Maßabweichung im Bereich von weniger als 1/10 mm möglich ist.

Unter einem mechanisch auf Endmaß gearbeiteten Hohlzylinder im Sinne der Erfindung ist auch ein Zylinder zu verstehen, dessen Innenoberfläche mechanisch auf Endmaß bearbeitet und anschließend durch Ätzen gereinigt
10 wurde. Gleichmäßige Ätzprozesse beeinträchtigen die geometrische Endform des Hohlzylinders nicht, insbesondere erzeugen sie keine Biegung oder Ovalität im Querschnitt.


Der mechanisch auf Endmaß gearbeitete Hohlzylinder zeichnet sich erfindungsgemäß durch einen nach innen ragenden, umlaufenden Kragen aus.
15 Der Kragen ist an einem Ende des Hohlzylinders ausgebildet und er entsteht dadurch, dass die mechanische Bearbeitung vor diesem Ende des Hohlzylinders stoppt. Im einfachsten Fall entspricht der Innendurchmesser des Kragens dem ursprünglichen Innendurchmesser des Quarzglasrohlings vor der mechanischen Bearbeitung der Innenbohrung, und die nach innen weisende
20 Begrenzungsfläche des Kragens ergibt sich durch die Kontur des Bearbeitungswerkzeuges. Es ist aber auch möglich, den Kragen zusätzlich mechanisch zu bearbeiten, beispielsweise zur Aufweitung des Innendurchmessers, zur Abrundung, zur Entgratung von Kanten, usw., so dass ein Kragen mit vorgegebener Höhe und Form erhalten wird.

25 Der Kragen dient als Verengung der Hohlzylinder-Innenbohrung beim Einsatz des Hohlzylinders zur Herstellung eines optischen Bauteils, wobei in der Innenbohrung des Hohlzylinders ein Kernstab eingesetzt ist, der mit seinem unteren Ende auf dem Kragen aufliegt.

Der erfindungsgemäße Hohlzylinder zeichnet sich dadurch aus, dass die
30 Verengung in einem Arbeitsgang mit der mechanischen Bearbeitung erzeugt wird, so dass ein zeit- und kostenaufwändiger Heißverformungsschritt nicht


erforderlich ist, und zudem eine hohe Maßhaltigkeit des Kragens und damit eine definierte Lagerung des Kernstabes erzielt wird.

Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der umlaufende Kragen eine maximale Höhe aufweist, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,3-fachen des
5 Innendurchmessers der Innenbohrung, vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung, liegt.



Ein Kragen mit einer Höhe oberhalb der genannten Untergrenze verhindert ein Abrutschen oder Verkanten des Kernstabs, wobei von einem Kernstab ausgegangen wird, dessen Außendurchmesser nicht weniger als das 0,9-fache des Hohlzylinder-Innendurchmessers beträgt. Andererseits ist es zur Erzielung einer hohen Reinheit erwünscht, den Ringspalt zwischen Kernstab und Hohlzylinder bis unmittelbar vor dem Kollabieren mit einem Gas spülen zu können. Diese Gasspülung wird durch einen möglichst großen freien Strömungsquerschnitt erleichtert. Die maximale Höhe des Kragens entspricht
10 dem Unterschied zwischen dem Radius der Innenbohrung außerhalb des Kragens und dem minimalen Innenradius der Innenbohrung. Bei einem Kragen in Stufenform entspricht die maximale Höhe der Stufenhöhe
15

Es hat sich als außerdem als günstig erwiesen, wenn der umlaufende Kragen eine Ausdehnung – in Richtung der Längsachse gesehen – aufweist, die im
20 Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.



Das mit dem Kragen versehene Ende des Hohlzylinders wird nach der Herstellung des Quarzglas-Bauteils verworfen. Der angegebene Bereich für die Ausdehnung des Kragens in Richtung der Hohlzylinder-Längsachse stellt einen geeigneten Kompromiss dar zwischen einer ausreichenden Tragfähigkeit des
25 Kragens im Hinblick auf das Gewicht des darauf ruhenden Kernstabs einerseits und einem möglichst geringen Materialverlust andererseits.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hohlzylinders ist das mit der Verengung versehene Ende des Hohlzylinders als Außenkonus ausgebildet.

30 Das untere Ende des so vorgeformten Hohlzylinders weist in erster Näherung die Form einer Ziehwiebel auf, und erleichtert den Anziehprozess, indem der

Austritt des so geformten Endes aus der ringförmigen Heizzone und die Ausbildung eines Anziehstücks vereinfacht werden.

Vorteilhafterweise weist der Kragen einen sich zum Ende der Innenbohrung hin verjüngenden Innenkonus auf.

- 5 Der Innenkonus, der auf einfache Art und Weise mittels eines konischen Bearbeitungswerkzeuges erzeugt werden kann, trägt zur Zentrierung des Kernstabs in der Innenbohrung bei und stabilisiert so den Ziehprozess. Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand von Ausführungsbeispielen und einer Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen in schematischer Darstellung im einzelnen



Figur 1: einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung am Ende eines Quarzglas-Hohlzylinder durch plastische Verformung unter Einsatz eines Graphit-Werkzeugs in einer ersten Verfahrensvariante,

15 **Figur 2:** einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung am Ende eines Quarzglas-Hohlzylinder durch plastische Verformung unter Einsatz eines Graphit-Werkzeugs in einer zweiten Verfahrensvariante,

Figur 3: einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung am Ende eines Quarzglas-Hohlzylinder durch plastische Verformung unter Einsatz eines Quarzglas-Werkzeugs,



20 **Figur 4:** einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung durch Zusammenfügen der Stirnseiten zweier Hohlzylinder unter Verformung,

Figur 5: einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung in der Mitte eines Quarzglas-Rohzylinders durch Kollabieren der Innenbohrung unter Wirkung des Eigengewichts,

25

Figur 6: einen Ausschnitt eines erfindungsgemäßen Hohlzylinders mit mechanisch bearbeiteter Innenbohrung in einem Längsschnitt, und

Figur 7: einen Verfahrensschritt zur Erzeugung einer Verengung am Ende eines Quarzglas-Hohlzylinder durch Elongieren eine axialen Verbundes aus oberem und unterem Hohlzylinder.

Die im Folgenden näher beschriebenen Hohlzylinder werden für die Herstellung von optischen Fasern eingesetzt, die jeweils einen Kernbereich aufweisen, der von einer inneren Mantelglasschicht und einer äußeren Mantelglasschicht umgeben ist. Der Kernbereich besteht aus Quarzglas, das homogen mit 5 Gew.-% Germaniumdioxid dotiert ist. Die beiden Mantelglasschichten bestehen aus undotiertem Quarzglas, wobei das Quarzglas für die äußere der Mantelglasschichten von dem jeweiligen Hohlzylinder bereitgestellt wird.

Es wird zunächst ein sogenannter Kernstab nach dem OVD-Verfahren hergestellt. Hierzu werden auf einem um seine Längsachse rotierenden Träger durch Hin- und Herbewegung eines Abscheidebrenners schichtweise Sootpartikel abgeschieden, wobei dem Abscheidebrenner SiCl_4 und GeCl_4 zugeführt und in einer Brennerflamme in Gegenwart von Sauerstoff zu SiO_2 und GeO_2 hydrolysiert werden. Das Verhältnis an SiCl_4 und GeCl_4 wird bei der Abscheidung der inneren Schichten so eingestellt, dass sich über diesem Teil der Wandstärke des Sootrohres eine vorgegebene homogene GeO_2 -Konzentration von 5 mol-% ergibt. Sobald die Sootschichten abgeschieden sind, die den Kernbereich des Kernstabs bilden, wird die Zufuhr von GeCl_4 zum Abscheidebrenner gestoppt und es wird eine innere Mantelglasschicht aus undotiertem SiO_2 abgeschieden.

Nach Beendigung des Abscheideverfahrens und Entfernen des Trägers wird ein Sootrohr erhalten, das zum Entfernen der herstellungsbedingt eingebrachten Hydroxylgruppen einer Dehydratationsbehandlung unterworfen wird. Hierzu wird das Sootrohr in vertikaler Ausrichtung in einen Dehydratationsofen eingebracht und zunächst bei einer Temperatur im Bereich von 800 °C bis etwa 1000 °C in einer chlorhaltigen Atmosphäre behandelt. Die Behandlungsdauer beträgt etwa acht Stunden. Dadurch wird eine Hydroxylgruppenkonzentration von weniger als 100 Gew.-ppb erhalten. Das so behandelte Sootrohr wird in einem Verglasungsofen bei einer Temperatur im Bereich um 1350 °C verglast und dabei wird die Innenbohrung kollabiert, so dass ein Kernstab mit einem Außendurchmesser von 30 mm und dem

gewünschten Brechzahlprofil erhalten wird. Das Gewicht des Kernstabs beträgt – je nach Länge – bis zu 10 kg. In der herzustellenden optischen Faser mit einem Außendurchmesser von 125 μm bildet der Kernstab einen Kernbereich mit einem Durchmesser von ca. 8,5 μm .

- 5 Alternativ zu dem oben beschriebenen Herstellungsverfahren der Kernstäbe nach dem OVD-Verfahren werden dieselben nach dem bekannten MCVD-, VAD- oder PCVD-Verfahren hergestellt.

10 In jedem Fall wird weiteres Mantelmaterial für die Ausbildung der äußeren Mantelglasschicht in Form des eines Hohlzylinders bereitgestellt, das beim Faserziehen in einem ODD-Verfahren auf den Kernstab aufkollabiert wird. Die Herstellung des Hohlzylinders erfolgt analog zu der oben beschriebenen Herstellung des Kernstabs anhand eines üblichen OVD-Verfahrens, jedoch ohne Zusatz eines Dotierstoffs. Nach dem Entfernen des Trägers wird ein Sootrohr erhalten, das der beschriebenen Dehydratationsbehandlung
15 unterzogen und anschließend verglast wird.

Die Außenwandung des so erhaltenen Quarzglasrohres wird mittels Umfangseinstech- bzw. -längssschleifen in mehreren Arbeitsgängen unter Verwendung sukzessiv feinerer Korngrößen auf die gewünschte Außenabmessung abgeschliffen. Ebenso wird die Innenbohrung mittels eines
20 Bohrers aufgebohrt und zum Zwecke einer hochpräzisen Endbearbeitung hinsichtlich Form und Oberflächenbeschaffenheit durch Honen nachbearbeitet. Es wird so eine in Längsachsenrichtung verlaufende, gerade Bohrung mit einem genau kreisförmigen Querschnitt erhalten. Um Oberflächenspannungen abzubauen und um Beschädigungen durch die Oberflächenbearbeitung zu
25 entfernen wird das Quarzglasrohr in einem Flusssäure-Bad, dessen HF-Konzentration zwischen 5 % und 30 % liegt, kurz geätzt.

Das so erhaltene Quarzglasrohr hat einen Außendurchmesser von 120 mm, einen Innendurchmesser von 32,4 mm und eine Länge von 2500 mm. Die Maßabweichung ($t_{\text{max}} - t_{\text{min}}$) in der Wandstärke beträgt 0,5 mm.

- 30 Das Quarzglasrohr wird auf geeignete Teillängen abgelängt, die als Hohlzylinder im Sinne dieser Erfindung zur Herstellung von optischen Fasern

anhand eines ODD-Verfahrens eingesetzt werden. Hierzu wird eine koaxiale Anordnung von Kernstab und Hohlzylinder in vertikaler Ausrichtung einer Erhitzungszone zugeführt und darin mit dem unteren Ende beginnend in einem ringförmigen Ofen zonenweise auf eine Temperatur um 2050 °C erweicht und dabei eine optische Faser aus dem erweichten Bereich abgezogen. Zu Beginn des Ziehverfahrens liegt der Kernstab auf einer Verengung des Hohlzylinders auf. Die Herstellung einer geeigneten Verengung wird nachfolgend anhand den Figuren 1 bis 5 näher erläutert.

Figur 1 zeigt das untere Ende eines Hohlzylinders 1, das nach dem Erweichen mittels einer Grafitfassung, der insgesamt die Bezugsziffer 2 zugeordnet ist, plastisch verformt wird. Hierzu werden der Hohlzylinder 1 und die Grafitfassung 2 in einem Ofen 9 auf eine Temperatur um 1700°C erwärmt. Anschließend wird die Grafitfassung 2 gegen das untere Ende des Hohlzylinders 1 gepresst. Die Grafitfassung 2 ist mit einer umlaufenden V-Nut 3 versehen, deren maximaler Außendurchmesser nur um wenige Millimeter größer ist als der Außendurchmesser des Hohlzylinders 1, und deren Innendurchmesser durch einen Zapfen 4 gebildet wird, der in die Innenbohrung 5 des Hohlzylinders 1 hineinragt. Die Grafitfassung 2 wird gegen das untere Ende des um seine Längsachse 10 rotierenden Hohlzylinders 1 gepresst, wie dies der Rotationspfeil 8 und der Richtungspfeil „F“ (Kraftrichtung) andeuten. Beim Stauchvorgang wird das erweichte Quarzglas nach innen umgestülpt und legt sich an der Zylindermantelfläche des Zapfens 4 an. Es bildet sich dadurch ein nach innen gerichteter Kragen 6, der als Verengung der Innenbohrung 5 im Sinne dieser Erfindung dient. Infolge der schrägen Außenfläche der V-Nut 3 wird das untere Ende des Hohlzylinders 1 als Außenkonus 7 geformt.

Figur 2 zeigt eine alternative Verfahrensweise zur Herstellung einer Verengung der Innenbohrung 15 am Ende eines Hohlzylinders 11. Hierzu werden ein Grafitgestänge 17, das eine in die Innenbohrung 15 ragende Spitze 18 aufweist und der Hohlzylinder 11 in einen Ofen 9 eingebracht, und darin auf Erweichungstemperatur um 1700°C erweicht. Durch Anpressen der Spitze 18 des Grafitgestänges 17 gegen die um die Hohlzylinder-Längsachse 10 rotierende untere Stirnseite des Hohlzylinders 11 wird Quarzglasmasse nach

innen umgestülpt, das sich in Form eines nach innen ragenden Wulstes 16 um die Kegelfläche der Spitze 18 des Grafitgestänges 17 aufbaut.

Eine weitere Verfahrensvariante zur Herstellung einer geeigneten Verengung der Innenbohrung 25 eines Quarzglas-Hohlzylinders 21 zeigt **Figur 3**. An das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders 21 wird ein konisches Quarzglasrohr 22 angesetzt, das an der Kontaktstelle zum Hohlzylinder 21 in etwa die gleichen Außen- und Innendurchmesser aufweist wie der Hohlzylinder 21. Die Kontaktstelle wird mittels eines Brenners 24 erweicht und durch den Druck der Stirnflächen gegeneinander, wie durch die Richtungspfeile „F“ angedeutet, wird Quarzglas aufgestaucht, das einen an der Innenwandung und an der Außenwandung umlaufenden Wulst 23 bildet. Das konische Quarzglasrohr 22 wird dabei mit dem unteren Ende des Hohlzylinders 21 verschmolzen und bildet aufgrund seiner Außenform bei dem eigentlichen Ziehverfahren eine geeignete Anziehhilfe.

Bei der in **Figur 4** dargestellten Verfahrensweise zur Herstellung einer Verengung einer Innenbohrung 35 werden zunächst die jeweiligen Enden 32 zweier Hohlzylinder 31 konisch verjüngt und anschließend die konisch verjüngten Enden 32 als Stoß unter Bildung eines doppelt so langen Rohzylinders 33 zusammengefügt. Beim Zusammenfügen der beiden Hohlzylinder 31 wird in der Innenbohrung 35 des Rohzylinders 33 ein Unterdruck von 100 mbar gegenüber dem Außendruck eingestellt, so dass sich im Bereich der beiden konisch verjüngten Enden 32 aufgrund der dort geringeren Wandstärke ein umlaufender Innenwulst 34 ausbildet. Anschließend werden die beiden Hohlzylinder 31 im Bereich des Innenwulstes 34 getrennt, wie dies die Linie 36 andeutet, so dass jedem der so erhaltenen Hohlzylinder 31 ein Teil des Innenwulstes 34 verbleibt, und der eine Verengung der Innenbohrung 35 im Sinne der Erfindung bildet.

Figur 5 zeigt eine weitere Verfahrensvariante zur Herstellung einer Verengung der Innenbohrung 45 eines Hohlzylinders 41, wobei ein Rohrstrang 43 in vertikaler Orientierung einem Ringofen 49 zugeführt wird und innerhalb des Ringofens 49 eine etwa 30 cm lange Teillänge des Rohrstrangs 43 auf eine Temperatur oberhalb der Erweichungstemperatur von Quarzglas erhitzt wird. Infolge des Eigengewichtes des Rohrstrangs 43 kommt es zu einer

Einschnürung 48 und damit zu einer Verengung der Innenbohrung 45. Der Bereich der Einschnürung 48 ist dabei so gewählt, dass die Länge des Rohrstranges 43 unterhalb der Einschnürung 48 mindestens der Länge entspricht, wie sie für die Herstellung eines Hohlzylinders 41 erforderlich ist. Im Bereich der Einschnürung 48 wird anschließend der Rohrstrang 43 getrennt, wie dies durch die gestrichelte Linie 42 angedeutet ist, so dass ein Hohlzylinder 41 erhalten wird, der infolge der Einschnürung 48 eine Verengung der Innenbohrung 45 im Sinne der vorliegenden Erfindung aufweist.

Die Teillänge des Rohrstrangs 43 oberhalb der so erzeugten Einschnürung 48 ist ebenfalls als Hohlzylinder 41 im Sinne der vorliegenden Erfindung geeignet, sofern es eine ausreichende Länge aufweist. Auf diese Weise gelingt es somit in einem Verformungsvorgang zwei Hohlzylinder mit einer Verengung der Innenbohrung zu erzeugen.

Figur 6 zeigt in schematischer Darstellung eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hohlzylinders 51, der eine Innenbohrung 55 aufweist, die am unteren Ende eine Verengung aufweist, welche durch einen stufenförmigen, nach innen ragenden, konischen Kragen 52 gebildet wird. Der Kragen 52 hat eine Länge von 20 mm - in Richtung der Hohlzylinder-Längsachse 10 gesehen; und die maximale Höhe des Kragens 42 ($= \frac{1}{2} \times (D1 - D2)$) beträgt etwa 4 mm, dies entspricht etwas mehr als dem 0,1-fachen des Durchmessers D1 der Innenbohrung 55, wobei ein Kernstab eingesetzt wird, dessen Außendurchmesser dem 0,9-fachen der Innenbohrung entspricht.

Der umlaufende, konische Kragen 42 wird im Verlaufe der mechanischen Bearbeitung des Hohlzylinders 51 erhalten, indem ein kegelförmiges Bearbeitungswerkzeug eingesetzt wird und indem die mechanische Bearbeitung vor dem Durchbruch am unteren Ende des Hohlzylinders 51 stoppt und so derjenige Bereich an Quarzglas stehengelassen wird, der den Kragen 52 bildet.

Figur 7 zeigt eine weitere Verfahrensvariante zur Herstellung einer Verengung der Innenbohrung 65 eines Hohlzylinders 61, wobei die Innenbohrung 65 des Hohlzylinders 61 zunächst mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und anschließend der Hohlzylinder 61 unter Bildung eines axialen Verbundes 63

stirnseitig mit einem zweiten, einen Kernstab 64 umgebenden, unteren Hohlzylinder 66 verschmolzen wird. Länge, Innendurchmesser und Außendurchmesser von oberem und unterem Hohlzylinder 61; 66 sind gleich. Der Innendurchmesser beträgt 55 mm und der Außendurchmesser 160 mm und die Länge jeweils etwa 200 cm. Der so hergestellte axiale Zylinderverbund 63 wird mit seinem unteren Ende beginnend in vertikaler Ausrichtung einem Ringofen 49 zugeführt, darin zonenweise erweicht und unter Bildung einer Vorform 68 elongiert. Der obere Hohlzylinder 61 dient hierbei zur Halterung des unteren Hohlzylinders 66. Beim Elongieren bildet sich eine Ziehzwiebel 69 aus, die im Zylinderverbund 63 infolge des Vorschubes allmählich in Richtung des oberen Hohlzylinders 61 fortschreitet. Sobald die Ziehzwiebel 69 das untere Ende des oberen Hohlzylinders 61 erreicht, führt dies zu einer Verengung der Innenbohrung 65 des oberen Hohlzylinders 61. Daraufhin wird der Elongierprozess beendet und der obere Hohlzylinder 61 wird von der Vorform 68 abgetrennt, an einer Stelle, die durch die punktierte Linie 70 angedeutet ist. Seine Innenbohrung 65 weist nunmehr eine Verengung auf, welche für die Halterung eines Kernstabes geeignet ist.

Der obere Hohlzylinder 61 wird anschließend mit einem neuen Kernstab bestückt und mit seiner oberen, offenen Stirnseite mit einem weiteren Hohlzylinder verschmolzen, der beim anschließenden Elongierprozess zur Halterung des Hohlzylinders 61 dient, und in dem nun - wie oben beschrieben - während des Elongierprozesses zur Herstellung einer Vorform eine Verengung der Innenbohrung erzeugt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines
5 Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenbohrung (55) mechanisch auf Endmaß
10 bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung (55) erzeugt wird, indem bei der mechanischen Bearbeitung im Bereich des unteren Endes ein um die Längsachse (10) der Innenbohrung (55) umlaufender und nach Innen ragender Kragen (52) erzeugt wird.
15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) mit einer maximalen Höhe erzeugt wird, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,32-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung (55), vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des
20 Innendurchmessers der Innenbohrung (55), liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) mit einer Ausdehnung – in Richtung der Längsachse (10) gesehen – erzeugt wird, die im Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.
- 25 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kragen (52) mit einem sich zum unteren Ende hin verjüngenden Innenkonus erzeugt wird.

5. Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenbohrung (5) mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung (5) erzeugt wird, indem das untere, stirnseitige Ende des Hohlzylinders erweicht, gegen ein Werkzeug (2, 17, 22) gestaucht, und dabei unter Bildung eines umlaufenden Wulstringes (6, 16) nach Innen eingestülpt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2, 17) ein in die Innenbohrung (15) hinein ragendes Formteil (4, 18) aufweist, wobei das eingestülpte Quarzglas an dem Formteil (4, 18) unter Bildung des umlaufenden Wulstringes (6, 16) zum Anliegen kommt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlzylinder (1) und das Werkzeug (2, 17, 22) in einem Ofen (9) auf eine Temperatur aufgeheizt werden, bei welcher Quarzglas erweicht.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkzeug (17) eingesetzt wird, bei welchem das Formteil (18) eine in die Innenbohrung (15) des Hohlzylinders (11) hinein ragende Kegelfläche (18) aufweist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkzeug (2) eingesetzt wird, bei welchem das Formteil als ein in die Innenbohrung (5) des Hohlzylinders (1) hinein ragender Zapfen (4) ausgebildet ist, der einen Außendurchmesser aufweist, der dem Innendurchmesser (5) des sich bildenden Wulstringes (6) entspricht.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2) eine Ringnut (3) aufweist, deren Außendurchmesser dem Außendurchmesser des Hohlzylinder (1) und deren Innendurchmesser dem Innendurchmesser des Wulstringes (6) entspricht.
- 5 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2, 17) aus Graphit oder aus carbonfaserverstärktem Kohlenstoff besteht.
- 10 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2, 17) und das erweichte stirnseitige Ende des Hohlzylinders (1, 11) um die Hohlzylinder-Längsachse (10) gegeneinander rotieren.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass an dem erweichten stirnseitigen Ende des Hohlzylinders (1) mittels des Werkzeugs (2) ein Außenkonus (7) geformt wird.
- 15 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkzeug in Form eines Quarzglasrohres (22) eingesetzt wird, das mit dem stirnseitigen Ende des Hohlzylinder (21) in Form eines Stoßes verschmolzen wird.
- 20 15. Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine
- 25 Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rohzylinder (33, 43) bereitgestellt wird, der länger ist als der zu elongierende Hohlzylinder (31, 41), und dessen Bohrung (35, 45) mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Rohzylinder-
- 30 Bohrung (35, 45) in einer Kollabierzone (34, 48), die zum stirnseitigen Ende des Rohzylinders (33, 43) einen Abstand aufweist, der mindestens der

Länge des Hohlzylinders (31, 41) entspricht, erhitzt und dabei teilweise kollabiert wird, und dass anschließend der Rohzylinder (33, 43) im Bereich der Kollabierzone (34, 48) getrennt wird.

- 5 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohzylinder (33, 43) aus mindestens zwei stirnseitig miteinander verbundenen Ausgangszylindern (31, 41) besteht, im Bereich einer Ansetzzone in Form eines Stoßes zusammengefügt werden, und dass das Erhitzen und teilweise Kollabieren des Rohzylinders (33, 43) im Bereich der Ansetzzone erfolgt.
- 10 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Ausgangszylinder (31) im Bereich der Ansetzzone eine verringerte Wandstärke (32) aufweist.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Bereich verringerter Wandstärke (32) als konische Verjüngung ausgebildet ist.
- 15 19. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohzylinder (43) in vertikaler Ausrichtung hängend in einem ringförmigen Heizelement (49) im Bereich seiner Kollabierzone (48) erweicht, und dabei unter Einfluss seines Eigengewichtes elongiert wird.
- 20 20. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohzylinder (33, 43) einen Zylinderaußenmantel aufweist, der vor dem Erhitzen und Kollabieren im Bereich der Kollabierzone (32, 48) mit einer radial umlaufenden Einkerbung versehen wird.
- 25 21. Verfahren nach einen der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass in der Bohrung (35, 45) beim Kollabieren ein Unterdruck gegenüber dem außen an der Zylindermantelfläche anliegenden Druck erzeugt wird.

22. Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge, indem die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenbohrung (65) eines ersten, oberen Hohlzylinders (61) mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, und dass die Verengung der Innenbohrung (65) erzeugt wird, indem der erste Hohlzylinder (61) stirnseitig mit einem zweiten, unteren Hohlzylinder (66) unter Bildung eines axialen Zylinderverbundes (63) verschmolzen wird, ein Kernstab (64) in den unteren Hohlzylinder (66) eingeführt, und der axiale Zylinderverbund (63) mit seinem unteren Ende beginnend der Heizzone (49) zugeführt, darin zonenweise erweicht und unter Bildung des Bauteils (68) elongiert wird, wobei sich eine in dem Zylinderverbund (63) zum ersten, oberen Hohlzylinder (66) fortschreitende Ziehzwiebel (69) ausbildet, die durch Kollabieren die Verengung der Innenbohrung (65) des ersten Hohlzylinders (61) bewirkt, der von dem optischen Bauteil (68) getrennt wird, und wobei anschließend der erste Hohlzylinder (61) als zweiter Hohlzylinder eingesetzt wird.
23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der obere Hohlzylinder (61) zum Halten des unteren Hohlzylinders (66) eingesetzt wird.
24. Hohlzylinder aus Quarzglas zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit einer Innenbohrung, die im Bereich eines ihrer Enden mit einer Verengung versehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenbohrung (55) eine mechanisch auf Endmaß bearbeitete Oberfläche aufweist, und dass die Verengung als ein bei der mechanischen Bearbeitung erzeugter, in die Innenbohrung (55) hinein ragender Kragen (52) ausgebildet ist.

25. Hohlzylinder nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) eine maximale Höhe aufweist, die zwischen dem 0,05-fachen bis 0,32-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung (55), vorzugsweise zwischen dem 0,1-fachen bis 0,2-fachen des Innendurchmessers der Innenbohrung (55), liegt.
26. Hohlzylinder nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass der umlaufende Kragen (52) eine Ausdehnung – in Richtung der Längsachse (10) gesehen – aufweist, die im Bereich zwischen 15 und 40 mm, vorzugsweise unterhalb von 30 mm, liegt.
27. Hohlzylinder nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass das mit der Verengung versehene Ende des Hohlzylinders als Außenkonus ausgebildet ist.
28. Hohlzylinder nach einem der Ansprüche 24 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Kragen (52) einen sich zum Ende der Innenbohrung (55) hin verjüngenden Innenkonus aufweist.

Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas sowie Hohlzylinder aus Quarzglas zur Durchführung des Verfahrens

5

Bei einem bekannten Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauteils aus Quarzglas durch Elongieren einer coaxialen Anordnung eines Kernstabs und eines Hohlzylinders einer vorgegebenen Länge wird die Anordnung in vertikaler Orientierung einer Heizzone zugeführt, darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich das Bauteil nach unten abgezogen wird, wobei der Hohlzylinder eine Innenbohrung aufweist, die im Bereich ihres unteren Endes mit einer Verengung versehen wird, auf welcher der Kernstab aufliegt. Zur Bildung der Verengung werden mehrere Verfahrenswesen vorgeschlagen, bei denen die Innenbohrung (55) jeweils

10 mechanisch auf Endmaß bearbeitet wird, wobei bei einer der

15 Verfahrensvarianten die Verengung der Innenbohrung (55) erzeugt wird, indem bei der mechanischen Bearbeitung im Bereich des unteren Endes ein um die Längsachse (10) der Innenbohrung (55) umlaufender und nach Innen ragender Kragen (52) erzeugt wird.

20

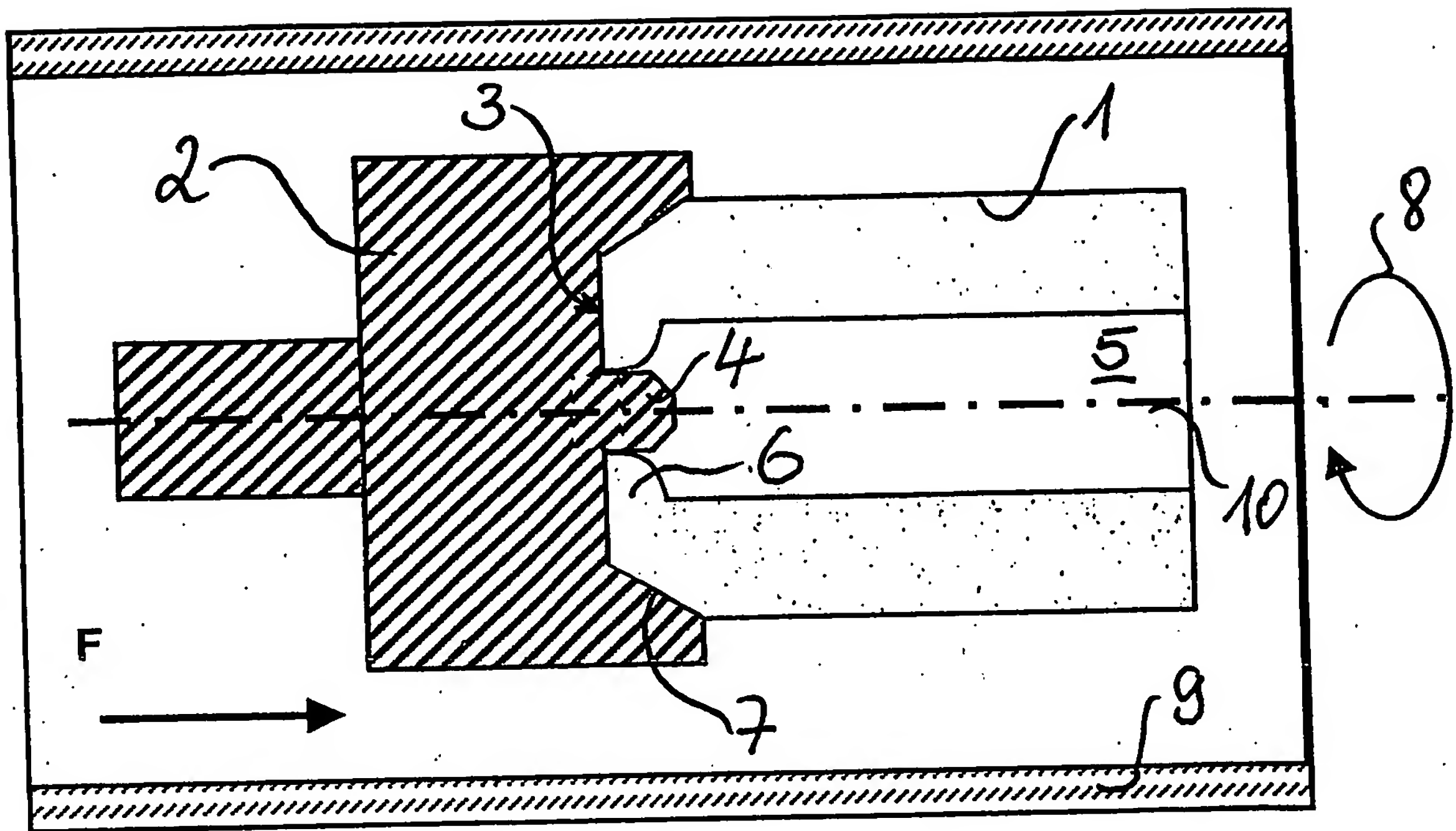


Fig. 1

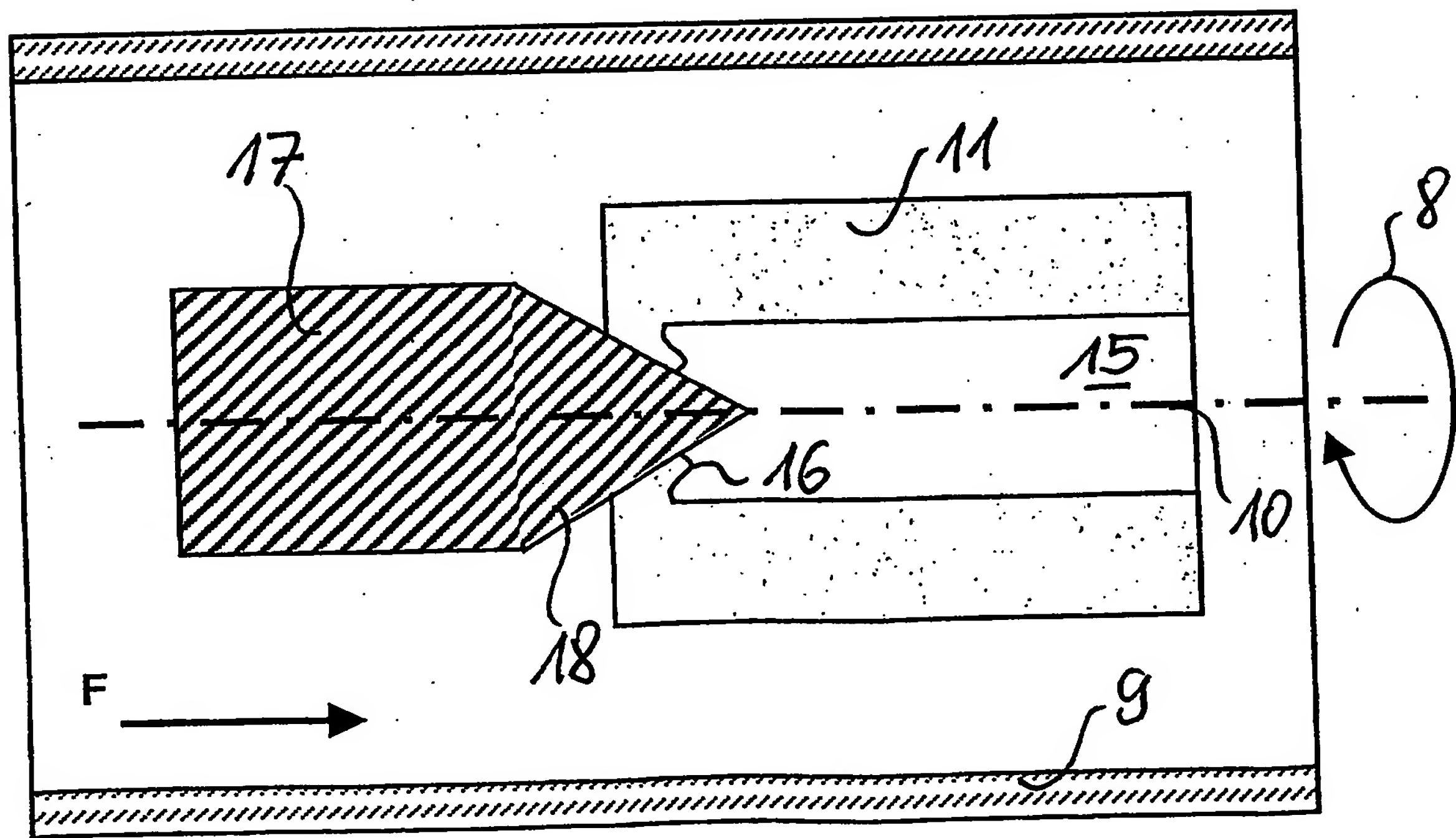


Fig. 2

2/4

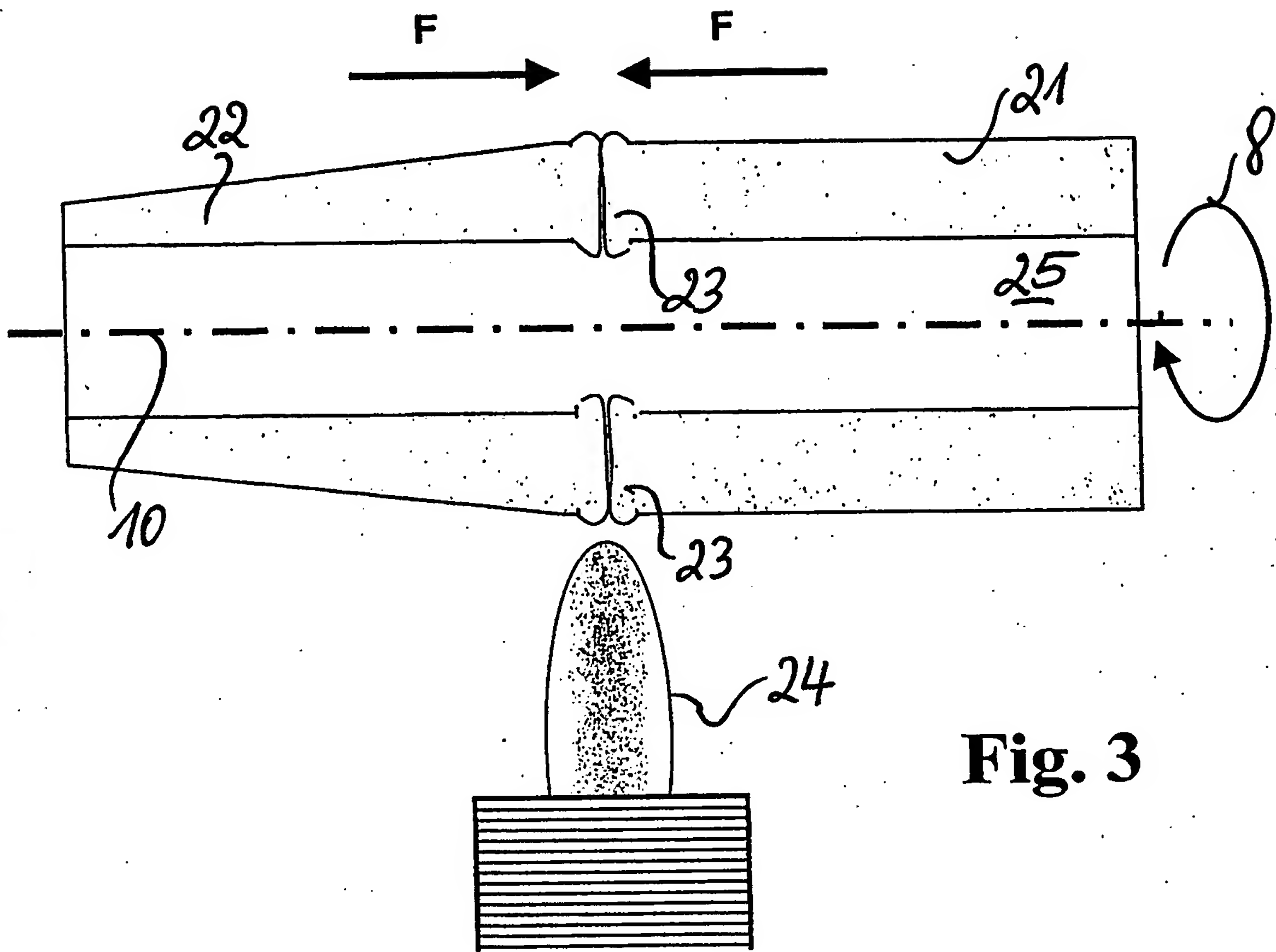


Fig. 3

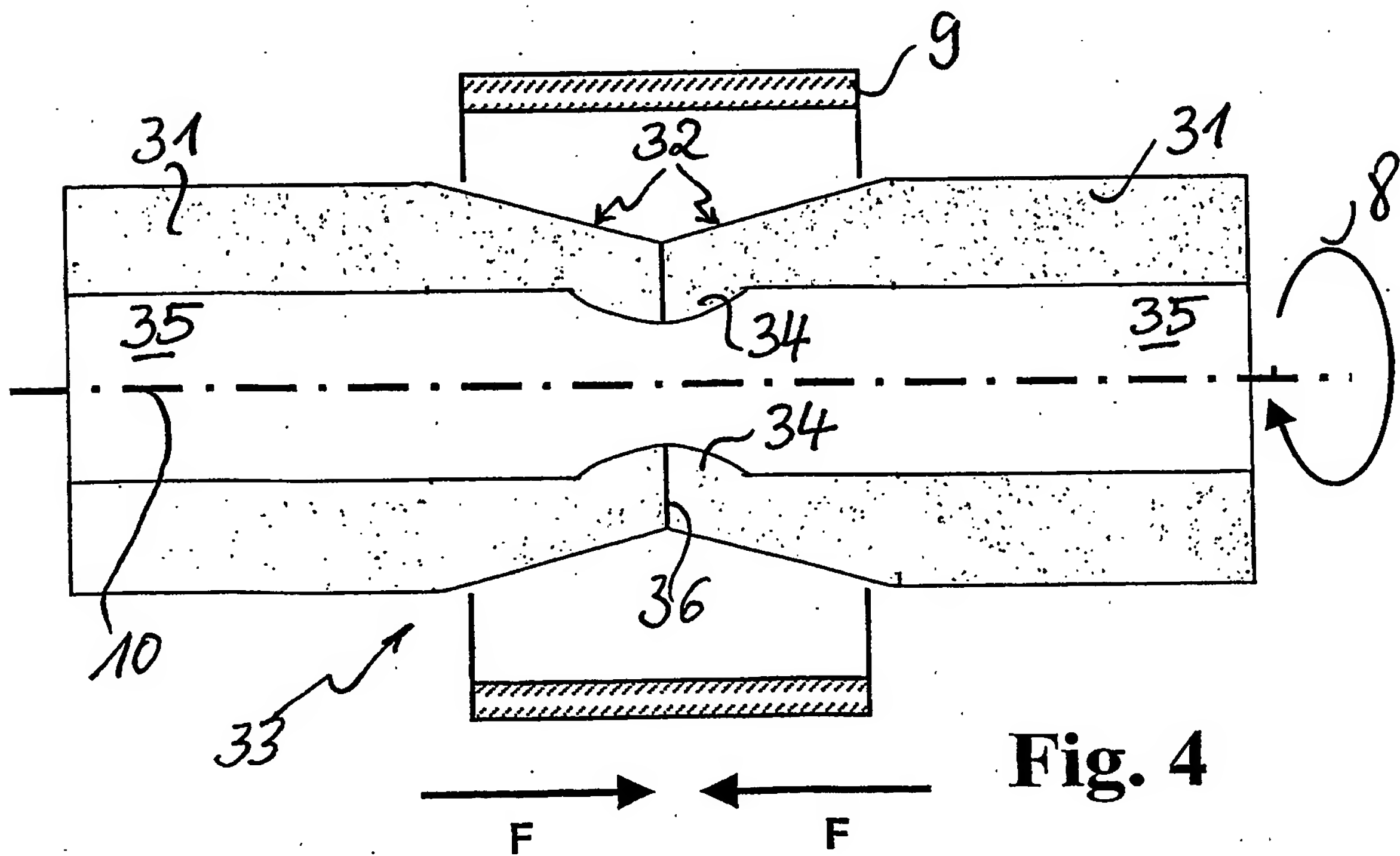


Fig. 4

3/4

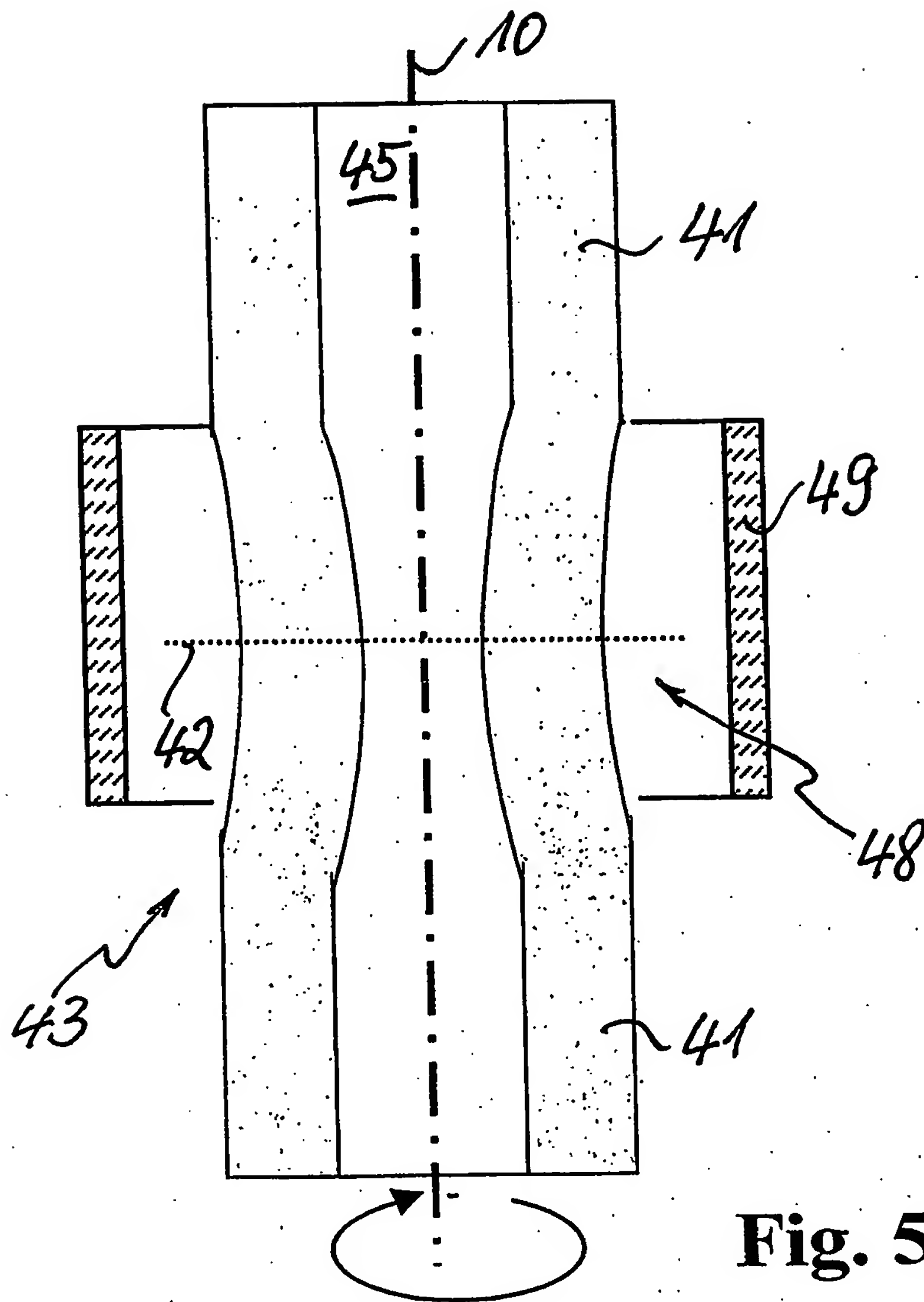


Fig. 5

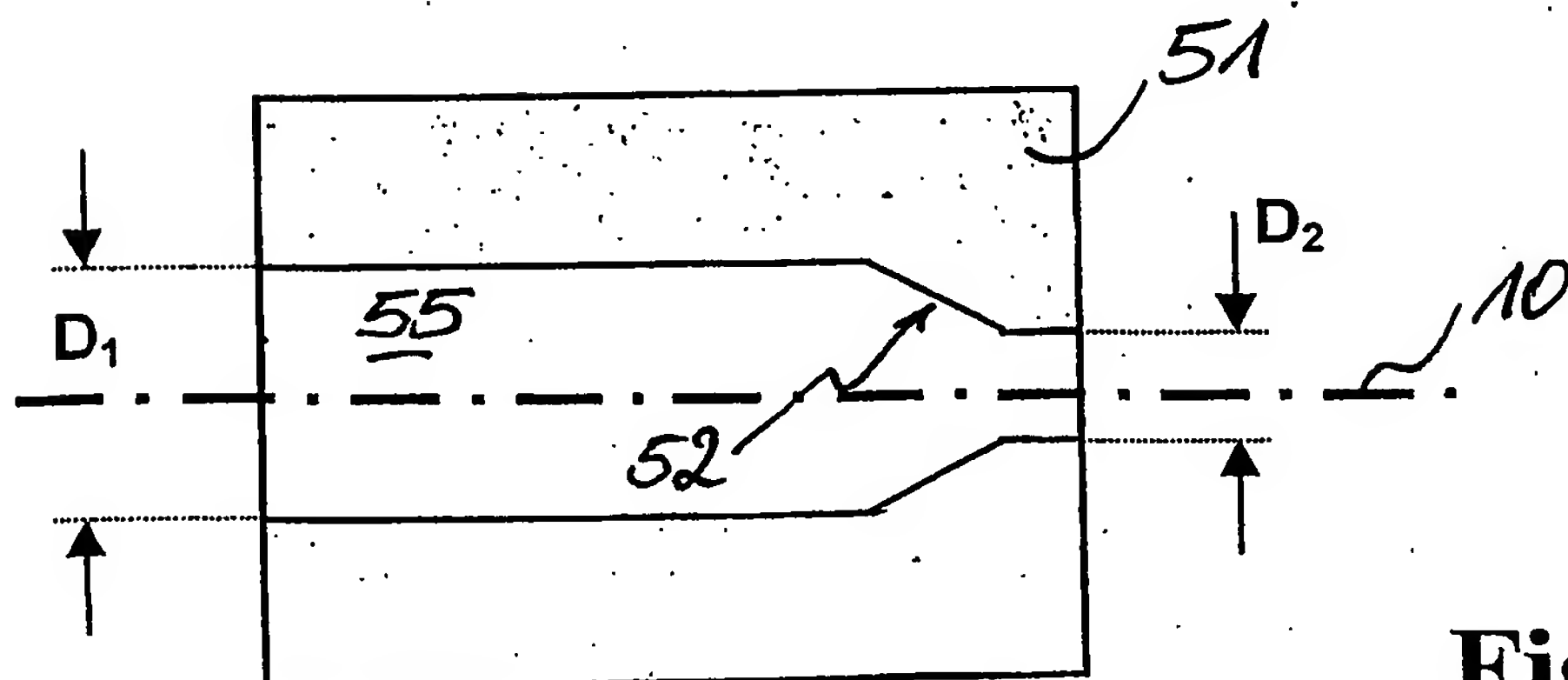


Fig. 6

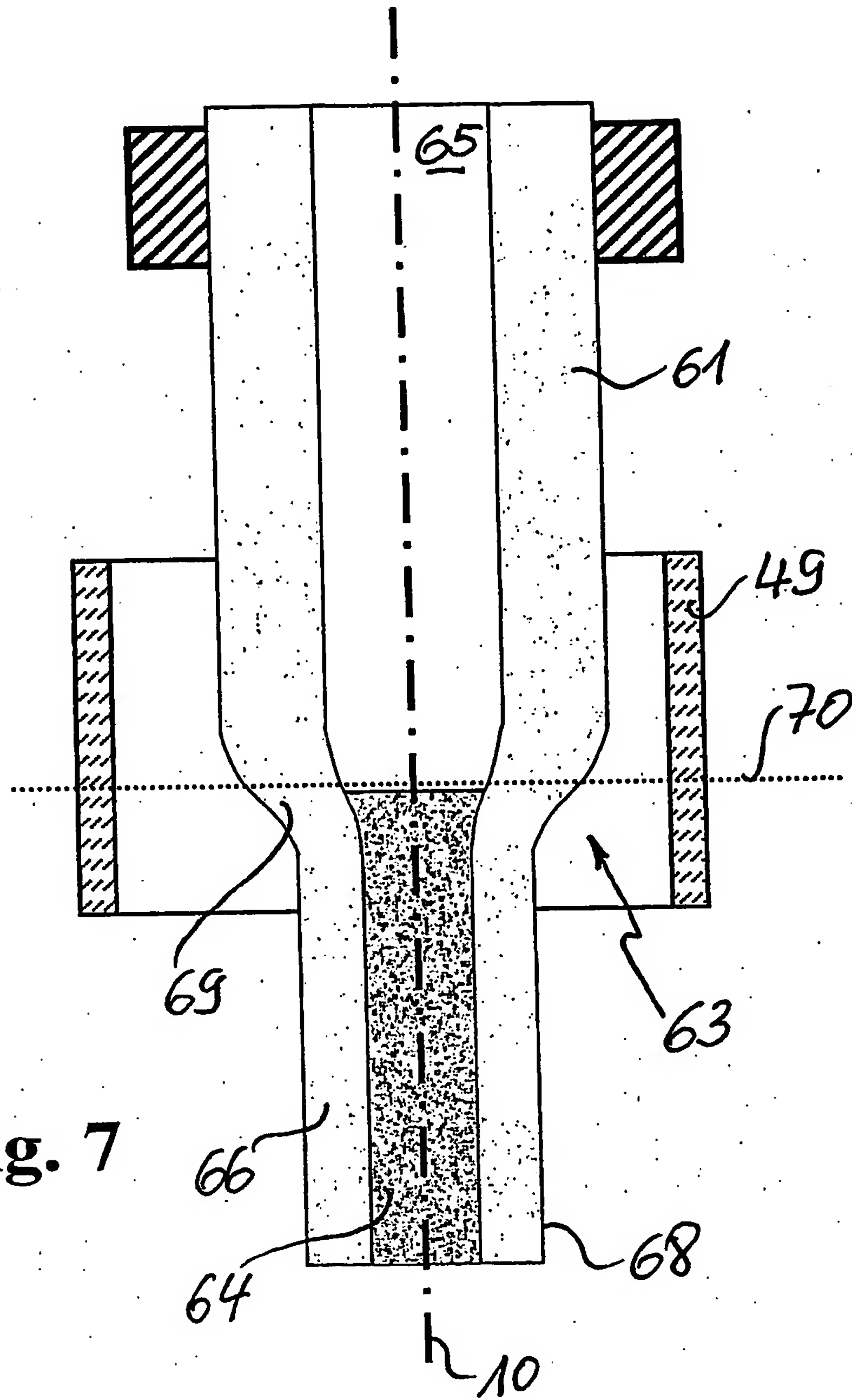


Fig. 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.